

Висновки

На основі аналізу стану процесу витоку надлишкового середовища із обмеженого об'єму через дифузор рекомендовано методику розрахунку дифузора оптимального обтікання потоком.

Запропоновано конструктивне рішення регулювання процесу витоку надлишкового середовища формою та розмірами дифузору. Розроблено реактивний двигун з універсальним регулятором-подовжувачем тяги на базі комбінованого дифузора-напівсопла.

Література

1. Ландау Л. Д. Теоретическая физика. Издание 5-е / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – М., 2006. – Т. VI: Гидродинамика. – 736 с.
2. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям; под ред. М. О. Штейнберга. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 284 с.
3. Абіанц Л. П. Реактивні двигуни та великі швидкості. – М., 1978. – 178 с.
4. Иванова Т. М. Теплотехнические измерения и приборы / Т. М. Иванова, И. Д. Кузнецов, В. С. Чистяков. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 250 с.
5. Чистяков С. Ф. Теплотехнические измерения и приборы / С. Ф. Чистяков, Д. В. Радун. – М.: Энергия, 1972. – 327 с.

*Надійшла до редакції
11 вересня 2014 року*

© Порєв В. А., Троц А. А., 2014

УДК 681.121

ВИЗНАЧЕННЯ СТУПЕНЯ НЕОДНОРІДНОСТІ ПОТОКУ РІДИНИ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ МЕРЕЖАХ

Коробко І. В.

*Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”,
м. Київ, Україна
i.korobko@kpi.ua*

Запропонована методика оцінювання гідродинамічних характеристик потоку вимірюваного середовища за наявної його неоднорідності та розроблені нові принципи визначення ступеня асиметричності набігаючого потоку по розсіянню енергії, яка дозволяє визначити кількісно і якісно розвиток асиметрії течій рідини при проходженні крізь локальні гідравлічні опори різної просторової конфігурації, що входять до складу вузлів вимірювання витрати та кількості рідиннофазних середовищ технологічних мереж. Це надає можливість окреслювати обмеження на місце монтажу лічильників та визначити їх доцільне розташування в технологічних мережах з урахуванням стратегічного впливу кінематичних і силових чинників їх локального позиціонування.

Ключові слова: витрата, рідиннофазні потоки, асиметрія потоків.

Вступ. Постановка проблеми

У зв'язку з модернізацією систем постачання паливно-енергетичних ресурсів зростають вимоги до точності вимірювань на вузлах їх комерційного обліку.

Це призводить до необхідності заміни застарілих приладів на сучасні, які дозволяють проводити вимірювання з високою точністю, мінімізувавши, при цьому, вплив різних факторів. До складу вимірюваних ділянок технологічних мереж при проектуванні вузлів обліку входять місцеві гідравлічні опори. Види та просторова форма таких місцевих опорів обумовлюються вимогами стандартів [1].

Постановка задачі

При вимірюванні витрати та кількості енергетичних ресурсів в трубопроводах, внаслідок місцевих гідравлічних опорів, мають місце потужні просторові неоднорідності турбулентних потоків, які суттєво впливають на метрологічні характеристики вимірювальних перетворювачів витрати (ВПВ). Для вирівнювання профілів швидкості і зменшення їх впливу на якість вимірювання до і після приладу застосовують прямолінійні ділянки. Досить часто в реальних умовах експлуатації приладів складно забезпечити необхідні довжини прямолінійних ділянок, внаслідок чого профілі швидкостей потоку в місцях установки ВПВ розподілені нерівномірно, що вносить додаткову похибку вимірювання. Виходячи з цього, необхідно визначити реальні параметри векторного поля швидкостей в різних поперечних перетинах потоків, а також оцінити ступінь впливу неоднорідності потоку на роботу перетворювача [2].

Для отримання кількісної характеристики ступеня асиметрії потоку вимірюваного середовища запропонована методика визначення моменту розсіяння імпульсу потоку (енергетична оцінка).

Визначимо кількість руху рідини, що проходить крізь живий переріз потоку. Для цього виділимо в перерізі елементарну площадку dS , крізь яку за одиницю часу проходить маса вимірюваного середовища, що визначається залежністю

$$dm = \rho v dS, \quad (1)$$

де ρ – густина вимірюваного середовища; v – миттєва швидкість вимірюваного середовища; S – площа поперечного перерізу.

Враховуючи залежність (1), кількість руху рідини, що проходить крізь елементарну площадку dS , можна визначити за виразом:

$$dJ = \rho v^2 dS.$$

Відповідно кількість руху рідини (сумарний імпульс) можна навести залежністю

$$J = \iint_S \rho v^2 dS. \quad (2)$$

Вираз (2) уявляє собою інтегральну енергетичну характеристику потоку у вигляді сумарного імпульсу потоку [3].

Оскільки кількість руху рідини розраховується по дійсному значенню швидкості в потоці, то вона буде більшою, ніж розрахована по її середньому значенню. Залежно від розподілу швидкості в перерізі потік може бути більш

компактним або розмитим. Міра компактності потоку характеризується моментами розсіяння його імпульсу [4]:

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{J} \iint_S (x - x_0)^2 \rho v^2 dS, \quad (3)$$

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{J} \iint_S (y - y_0)^2 \rho v^2 dS, \quad (4)$$

де x_0, y_0 – координати центра потоку.

Швидкість потоку енергетичного носія може бути представлено виразом [5]:

$$V = v_{\max} v \left(\frac{r}{R} \right), \quad (5)$$

де r – лінійне значення координати визначення швидкості;

R – радіус трубопроводу.

Враховуючи залежність (3), вирази (4) та (5) набудуть виду:

$$\sigma_x^2 = \frac{V_m^2}{J} \iint_S (x - x_0)^2 v(x)^2 \rho dx dy; \quad (6)$$

$$\sigma_y^2 = \frac{V_m^2}{J} \iint_S (y - y_0)^2 v(y)^2 \rho dy dx. \quad (7)$$

Оскільки розглядається циліндричний трубопровід, то $x = r/R$ та $y = r/R$.

При енергетичній оцінці ступеню асиметрії потоку рідини розрахунки моментів розсіяння імпульсів потоку в перерізах пропонується здійснювати по 4-х діаметральних хордах (рис. 1), які зміщені одна відносно іншої на кут $\pi/4$ рад. Для осесиметричного профілю по кожній із хорд графіки розподілу швидкостей будуть близькими один до одного на відміну від асиметричного потоку коли епюри розподілу швидкостей будуть значно відрізнятися, а відповідно і для кожного перерізу значення моментів розсіювання імпульсів потоку будуть різними.

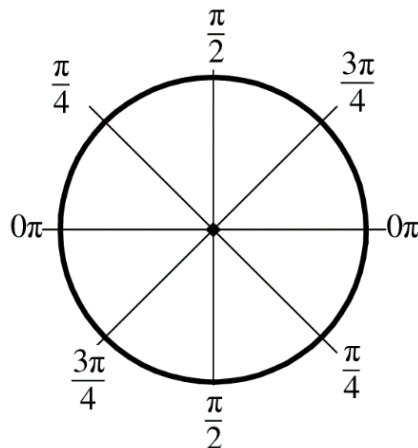


Рис. 1. Схема проєкцій векторів швидкості в поперечному перерізі

Внаслідок того, що моменти розсіяння імпульсів потоку (6-7) окреслюють

його енергетичну характеристику, то при асиметрії потоку їх значення будуть змінюватися залежно від її величини. При симетричних потоках моменти розсіювання імпульсу потоку будуть значно меншими ніж за асиметричних.

Для перевірки даного твердження були проведені дослідження симетричних та асиметричних потоків, що протікають по трубопроводах із круглим поперечним перерізом. Теоретичні дослідження гідродинамічних характеристик потоків здійснювалися для плинного вимірюваного середовища рідини, профіль швидкості яких описується такими математичними моделями:

а) зі степеневою базисною функцією [3]

$$\frac{v\left(\frac{r}{R}\right)}{v_{\max}} = \left(1 - \frac{r}{R}\right)^{\frac{1}{9}}; \quad (8)$$

б) профіль *Грего* [6]

$$\frac{v\left(\frac{r}{R}\right)}{v_{\max}} = 1,1523 + 0,09211 \cdot \ln\left(1 - \frac{r}{R}\right) + 0,1858\Phi\left(\frac{r}{R}\right), \quad (9)$$

де $\Phi\left(\frac{r}{R}\right) = -0,55303\left(\frac{r}{R}\right)^4 + 1,6066 \cdot \left(\frac{r}{R}\right)^3 - 1,8782\left(\frac{r}{R}\right)^2 + 0,60441\left(\frac{r}{R}\right) + 0,00269$;

в) профіль P5 за *Саламі* (рис. 2.), що описується виразом [7]:

$$\frac{v\left(\frac{r}{R}\right)}{v_{\max}} = \left(1 - \frac{r}{R}\right)^{\frac{1}{9}} + 0,6813 \frac{r}{R} \left(1 - \frac{r}{R}\right)^{\frac{1}{9}} e^{-0,1\theta} (\sin \theta)^2. \quad (10)$$

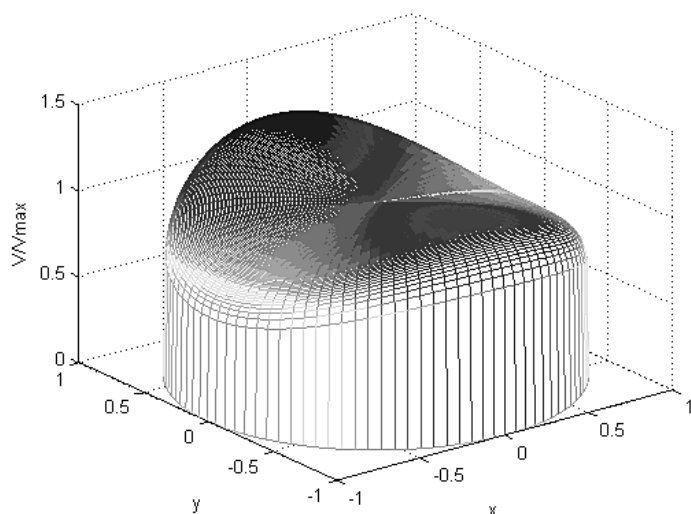


Рис. 2. Тривимірний профіль P5 *Саламі*

Результати моделювання розподілу швидкостей для профілю P5 *Саламі* по діаметральних хордах (рис. 3) підтверджують просторову 3-D модель досліджуваного потоку (рис. 2).

Такі профілі описують розвинуту турбулентну модель руху рідини, останній з них має чітко виражену асиметрію.

Результати розрахунків енергетичного критерію наведені в табл. 1.

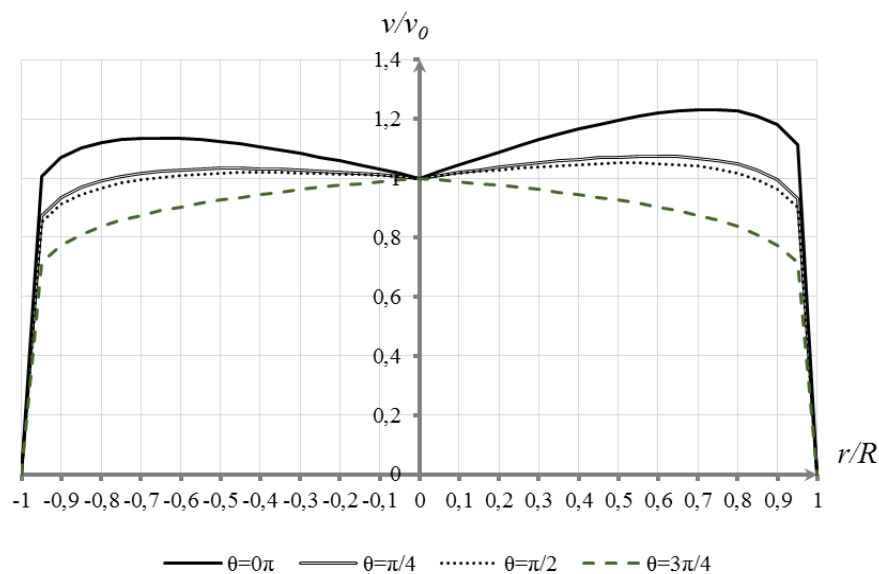


Рис. 3. Розподіл швидкостей профілю P5 по хордах

Таблиця 1. Результати розрахунків енергетичного критерію

Переріз(рис.1) Профіль	0-0	$\pi / 4 - \pi / 4$	$\pi / 2 - \pi / 2$	$3\pi / 4 - 3\pi / 4$
Степенева функція (1/9)	17,876	17,876	17,876	17,876
Грего	17,919	17,919	17,919	17,919
P5Саламі	19,757	20,164	17,876	19,861

Аналіз отриманих результатів (табл. 1) окреслює, що при симетричних потоках, які описуються степеневою базисною функцією (8) та профілем Грего (9), значення моментів розсіювання імпульсів потоку в перерізах практично однакові. В той же час, для асиметричних потоків (профіль P5 за Саламі (10)) спостерігається відмінність між значеннями моментів розсіювання імпульсів потоку в перерізах. Це вказує на наявність асиметрії потоку. І чим більші значення моментів розсіювання імпульсів потоку в перерізах ти більшим ступенем несиметричності він характеризується.

Сучасні CAE/CAD системи дозволяють здійснювати моделювання проходження потоку крізь різноманітні місцеві гідравлічні опори. Але в такому випадку отримані результати моделювання дискретні. При обробці експериментальних даних доцільніше перейти від інтегральної оцінки до оцінювання за сумою. Звичайно, при таких обчисленнях дещо знижується точність оцінювання, яка не має суттєвого впливу на рішення. Так при оцінці моментів розсіювання та сумарного імпульсу струменя по 100 точках профілю (для прикладу профіль – степенева функція) відмінність між розрахунками складає 0,34%.

У такому випадку вирази для визначення сумарного імпульсу (2) та моментів розсіювання (3) та (4) набудуть вигляду:

$$J = \sum_{i=1}^N v_i^2 \rho \Delta x;$$

$$\sigma_x^2 = \frac{v_{\max}^2}{J} \sum_{i=1}^N (x_i - x_0)^2 v_i^2 \rho \Delta x,$$

$$\sigma_y^2 = \frac{v_{\max}^2}{J} \sum_{i=1}^N (y_i - y_0)^2 v_i^2 \rho \Delta y$$

де $\Delta x, \Delta y$ – крок, між i -тими значеннями швидкості в напрямі діаметральної хорди; N – кількість точок.

При моделюванні проходження потоку крізь місцеві опори різних просторових форм на вході досліджуваної ділянки задається осесиметричний потік. Інтегральна енергетична оцінка ступеня асиметрії потоку, викликаної відповідним місцевим опором, визначається відносно осесиметричного профілю на вході досліджуваної ділянки.

Середнє значення моменту розсіювання імпульсу на вході досліджуваної ділянки буде визначатися за виразом:

$$\bar{\sigma}_0 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n \sigma_{0i},$$

де m – кількість хорд, по яких здійснюється оцінка ($m=4$).

Індекс «0» означає, що розглядається початковий вхідний переріз.

Середньоквадратичне відхилення від середнього значення симетричного потоку буде визначатися за виразом:

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^n (\sigma_{ki} - \bar{\sigma}_0)^2},$$

де k – номер перерізу вздовж вісі трубопроводу.

Проведемо оцінку асиметрії для потоків, що формуються після місцевих опорів, які моделювалися в середовищі *ANSYS FLUENT*.

Два коліна з поворотом на кут $\pi/2$ рад кожний і розміщених в різних площинах (просторове коліно) (рис. 4).

Вхідною величиною є швидкість потоку рідини, профіль якої розподілений за законом *Грего* [6].

В результаті проведення розрахунків були отримані числові значення моментів розсіювання імпульсів потоку для всіх перерізів, що розміщені на відстані діаметрів поперечних перерізів dy один від одного (рис. 5). Аналіз результатів розрахунків (рис. 5) показує, що значення сумарного моменту розсіювання імпульсу по чотирьох хордах зростає, в порівнянні з його сумарним значенням для симетричного профілю, при спотворенні потоку. Піки на графіку відповідають найбільшому значенню асиметрії, що зумовлена зміною просторової орієнтації і форми місцевого опору.

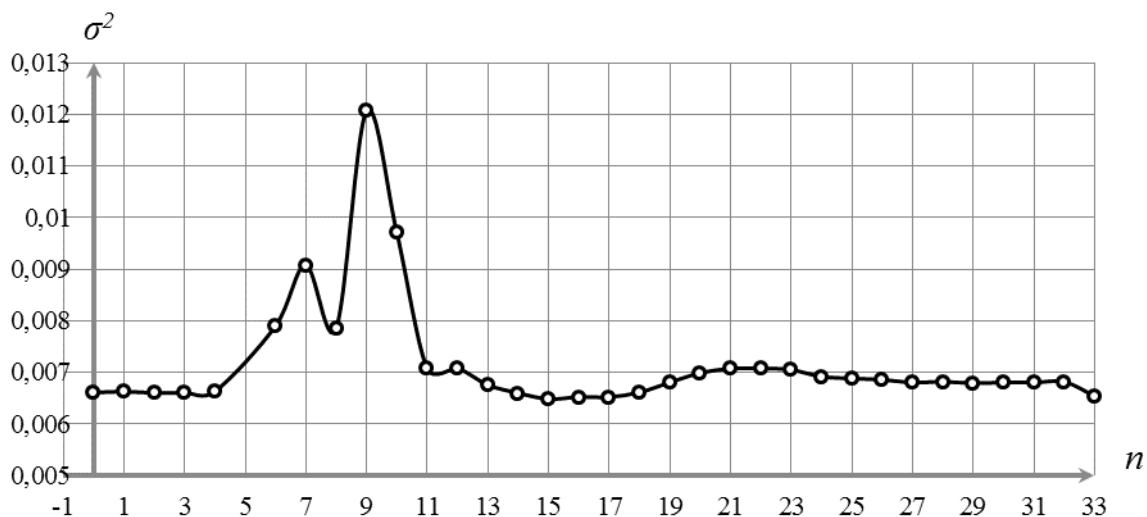


Рис. 5. Розподіл моментів розсіювання імпульсу σ^2 по протяжності технологічної мережі для просторового коліна

Аналогічні розрахунки проведемо для коліна з поворотом на кут $\pi/2$ рад, конфузора та дифузора. Зміна моменту розсіювання імпульсу по протяжності технологічної мережі для кожної з вказаних геометрій опорів наведена на рис. 6 – 8.

Кількісний аналіз результатів чисельного моделювання та обчислень дозволяє дійти висновку, що оцінка асиметрії потоку за допомогою моменту розсіювання імпульсу потоку з досить високою достовірністю визначає наявність місцевого опору.

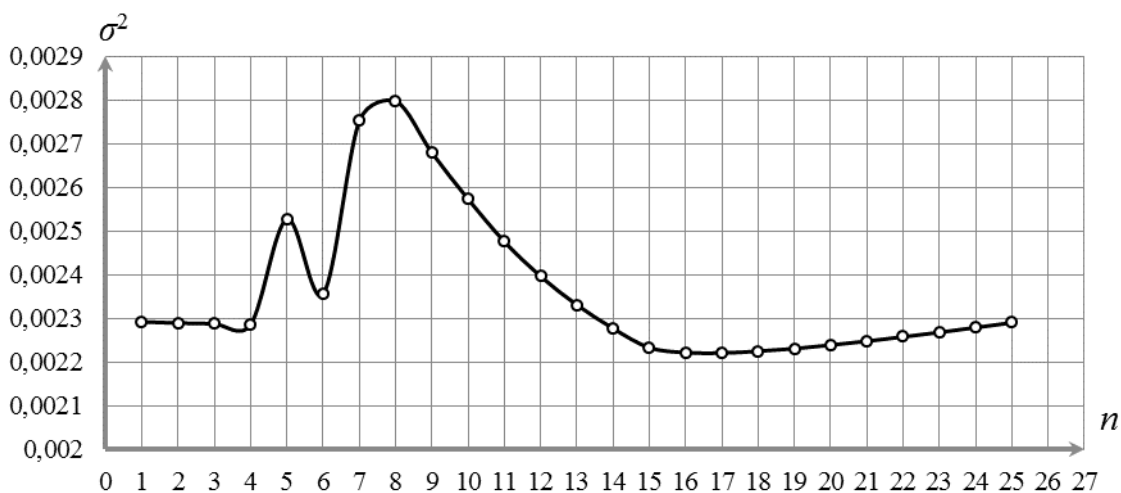


Рис. 6. Розподіл моментів розсіювання імпульсу σ^2 вздовж протяжності технологічної мережі для коліна з поворотом на кут $\pi/2$ рад

Характер поведінки графіка моменту розсіювання імпульсу по протяжності трубопроводу чітко відображає гідродинамічні процеси в технологічній мережі.

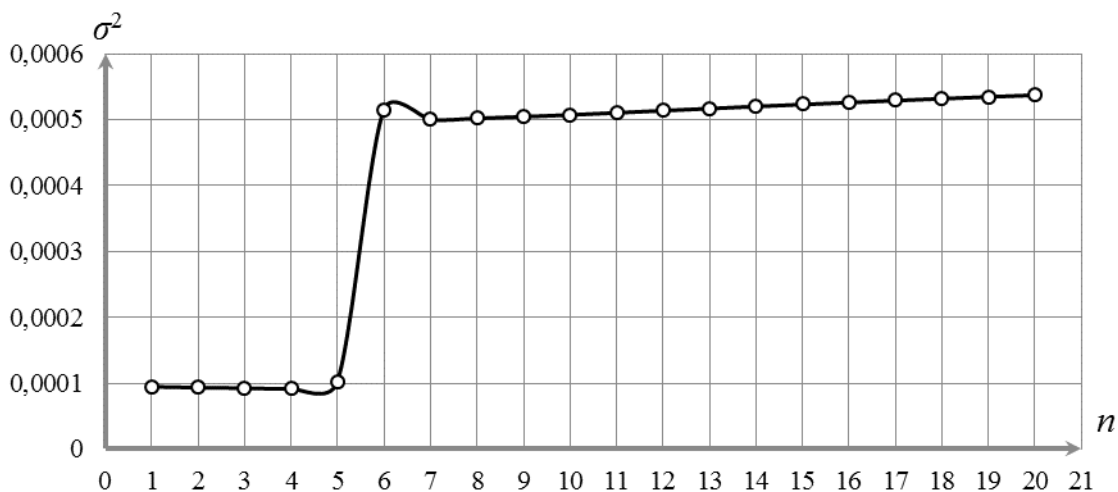


Рис. 7. Розподіл моментів розсіяння імпульсу σ^2 по довжині трубопроводу для конфузора

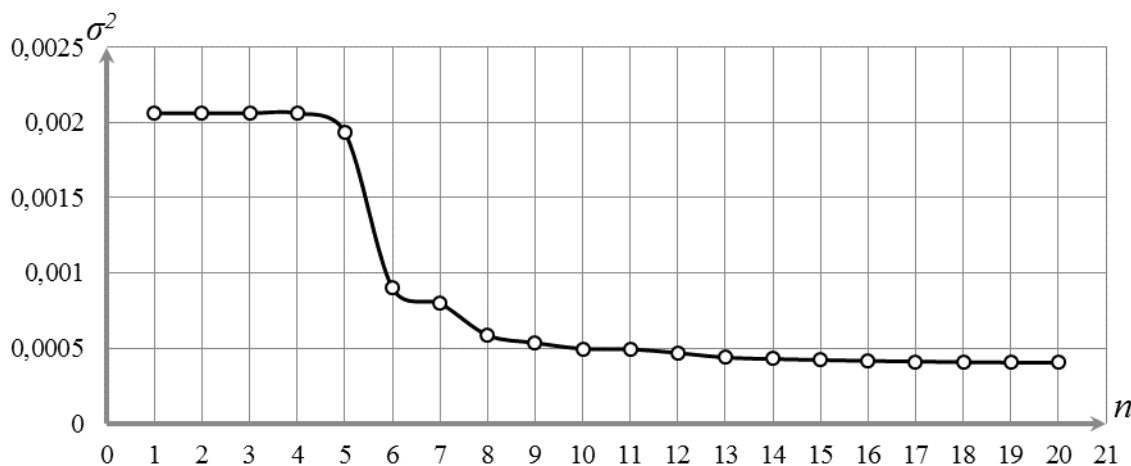


Рис. 8. Розподіл моментів розсіяння імпульсу σ^2 вздовж протяжності технологічної мережі для дифузора

Висновки

Розроблена методика оцінювання гідродинамічних характеристик потоку вимірюваного середовища за наявної його неоднорідності та розроблені нові принципи визначення асиметричності набігаючого потоку по розсіянню енергії потоку (енергетичний критерій) дозволяє визначати кількісно і якісно розвиток асиметрії потоків рідини внаслідок локальних гідравлічних опорів на вузлі вимірювання. Це надає можливість окреслювати обмеження на місце монтажу лічильників та визначати їх доцільне розташування в технологічних мережах з урахуванням стратегічного впливу кінематичних і силових чинників локального позиціонування.

Література

1. Пістун Є. П. Нормування витратомірів змінного перепаду тиску]: монографія/ Є. П. Пістун, Л. В. Лессовой. – Львів. Видавництво ЗАТ «Інститут енергоаудиту та обліку енергоносіїв», 2006. – 576 с.

2. Коробко І. В. Оцінка асиметрії потоку рідини при вимірюванні її витрати та кількості / І. В. Коробко, Я. В. Волинська // Вісн. НТУУ "КПІ". Сер. Приладобудування. – 2013. – Вип. 45. – С. 91 – 98.
3. Кулінченко В. Р. Гідравліка, гідравлічні машини і гідропривід: підручник / В. Р. Кулінченко. – К.: Фірма «ІНКОС». Центр навчальної літератури, 2006. – 616 с.
4. Струтинський В. Б. Математичне моделювання процесів та систем механіки: підручник / В. Б. Струтинський. – Житомир: ЖІТІ, 2001. – 612 с.
5. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа: учеб. для вузов/ Л. Г. Лойцянский – М.: Дрофа, 2003. – 840 с.
6. Рычагов М. Н. Ультразвуковые измерения потоков в многоплоскостных измерительных модулях / М. Н. Рычагов // Акустический журнал. – 1998. – Т. 44. – С. 792 – 799.
7. Launder В. Е. The Numerical computation of turbulent flows / В. Е. Launder, D. В. Spalding // Computer methods in applied mechanics and engineering. – 1974. – Vol. 3.– P. 269 – 289.

*Надійшла до редакції
16 жовтня 2014 року*

© Коробко І. В., 2014

УДК 681.7.066.35

ПРОЕКТУВАННЯ ЛІНЗИ ФРЕНЕЛЯ НА ПОВЕРХНІ ДОВІЛЬНОЇ ФОРМИ

Голюк І. В., Колобродов В. Г.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
м. Київ, Україна*

goliuk.igor@gmail.com

У роботі пропонується метод проектування лінзи Френеля на корпусі довільної форми, яка виконує роль оптичної системи приладу. Процес проектування оснований на використанні векторної форми закону Снеліуса для визначення геометричних параметрів внутрішньої поверхні. Отримані вирази для розрахунку одиничних векторів нормалі плоских сегментів, розташованих на внутрішній поверхні корпусу. На основі даного методу був розрахований корпус, обмежений двома кінчними поверхнями. Використовуючи метод, описаний у даній статті, можна значно покращити характеристики ряду оптико-електронних приладів, до яких належать датчики руху, концентратори сонячної енергії, освітлювальні прилади.

Ключові слова: лінзи Френеля, мікропрофіль, закон Снеліуса.

Вступ

На сьогодні існує безліч приладів, які тим чи іншим чином використовують оптичне випромінювання, проте вимоги, що пред'являються, до якості зображення не є високими, а функція оптичної системи зводиться до фокусування світла в фігуру тієї чи іншої форми (точка, відрізок, коло). До таких приладів відносять: датчики руху [1], концентратори сонячної енергії [2], освітлювальні прилади [3, 4, 5], тощо.

Набагато більші вимоги ставлять до масогабаритних характеристик, надійності та простоті конструкції, зовнішньому вигляду. Ефективним способом вирішення цієї задачі є нанесення тим чи іншим способом (штамбування, алмазне точіння, фотолітографія) на корпус приладу спеціального мікропрофілю (так